

# GROUP III NITRIDE-BASE COMPOUND SEMICONDUCTOR LASER

Publication number: JP2001230498 (A)

JP-A-2001-230498

Publication date: 2001-08-24

Inventor(s): NAGAI SEIJI; ITO MASARU; WAKIGUCHI MITSUO; KOIKE MASAYOSHI

Applicant(s): TOYODA GOSEI KK

Classification:

- international: H01L33/00; H01S5/022; H01S5/323; H01L33/00; H01S5/00; (IPC1-7): H01S5/323; H01L33/00; H01S5/022

- European:

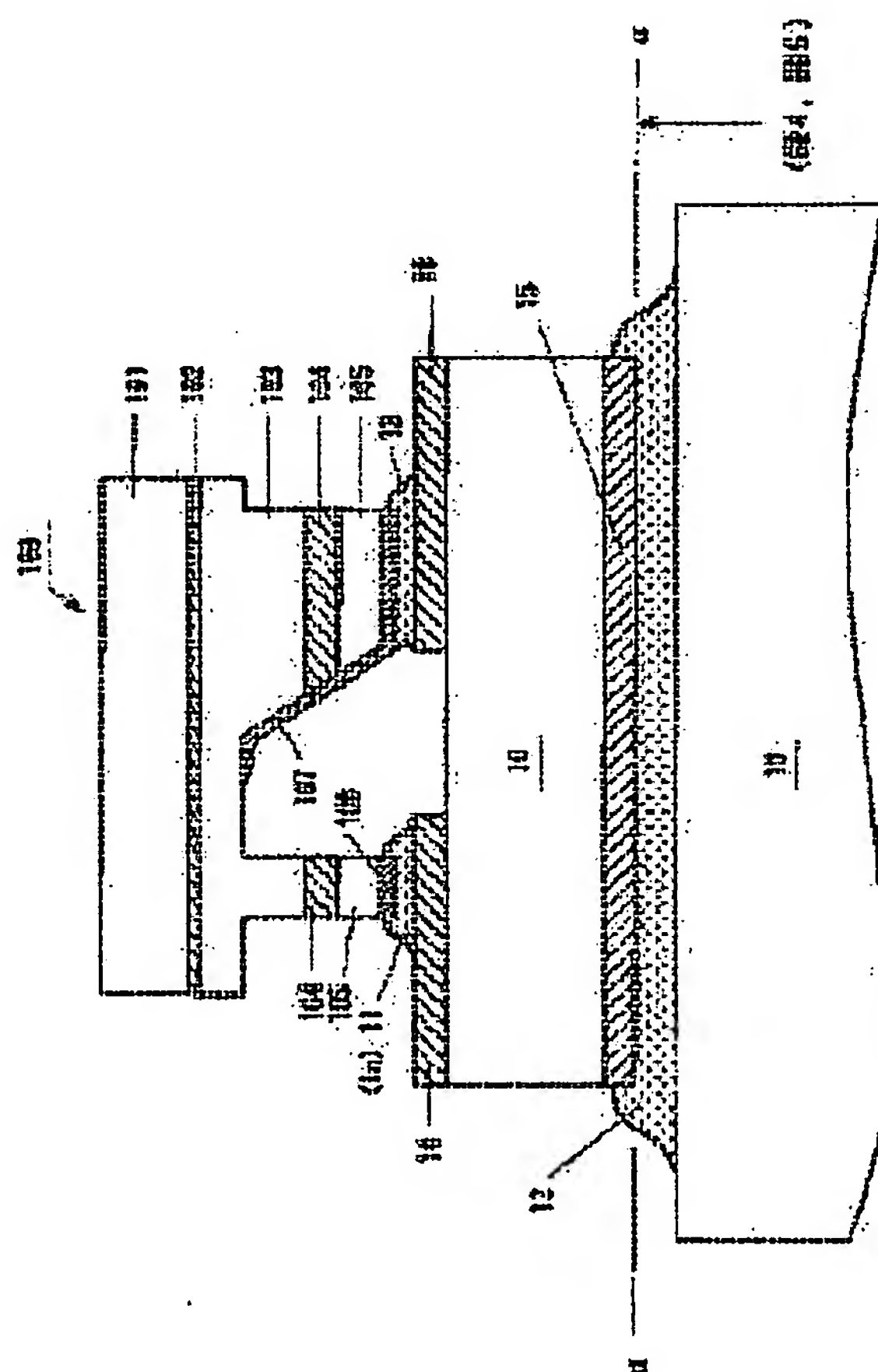
Application number: JP20000038279 20000216

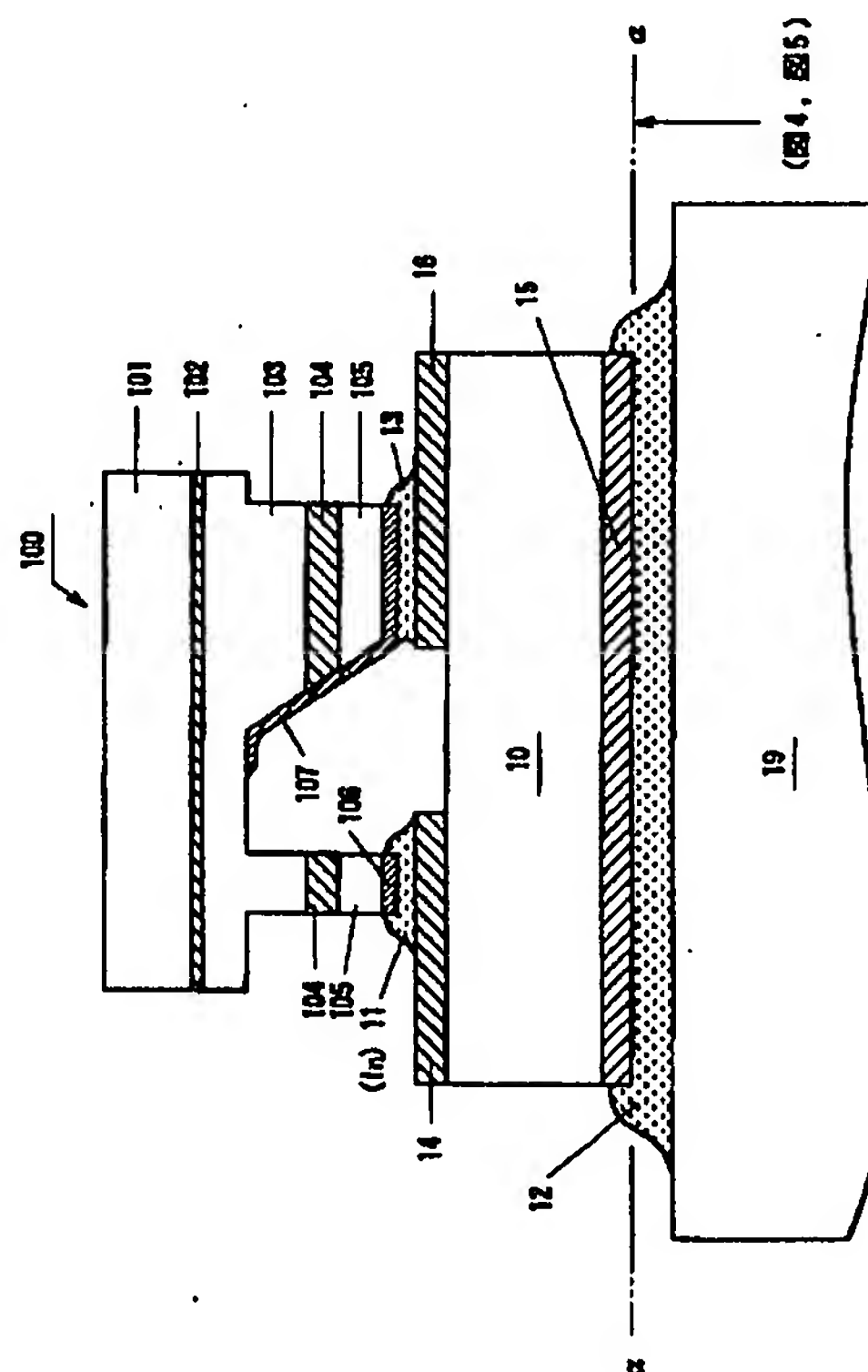
Priority number(s): JP20000038279 20000216

## Abstract of JP 2001230498 (A)

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To realize an inexpensive and long service-life semiconductor laser where no ununiform light emission due to exfoliation of a positive electrode or the like is caused and a threshold current is stably low.

**SOLUTION:** Lead electrodes 14, 16 are coated on an upper face (front side) of a sub mount made of aluminum nitride (AlN) through vacuum vapor-deposition of Au/Mo. A metallic layer 15 made of nickel (Ni) is formed onto a lower face (rear side) of the sub mount 10. A semiconductor layer 100 is directly joined to the sub mount 10 by a solder material (1st conductivity type material) 11 or the like made of indium (In) directly connecting a positive element 106 to the lead electrode 14. The rear side (on the side of the metallic layer 15) of this sub mount 10 is directly joined with an upper face of a heat sink 19 made of copper (Cu) with a solder material (2nd conductivity type material) made of In/Sn whose melting temperature T<sub>2</sub> is about 117 deg.C.





## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板の上に III族窒化物系化合物半導体から成る複数の半導体層を積層することにより形成され、サブマウントに対してジャンクションダウンでボンディングされるフリップチップ型の半導体レーザにおいて、

メサ形状、リッジ形状等の平頂な島型の共振器と、前記共振器の平頂部に形成された、最小幅又は最小径が  $10\mu\text{m}$ 未満の正電極とを有し、前記サブマウント又は前記サブマウントの表面上に成膜されたリード電極と、前記正電極とは、少なくともインジウム(In)を含んだ第1導電性材料により互いに直接接着されていることを特徴とする III族窒化物系化合物半導体レーザ。

【請求項2】 前記第1導電性材料の融点温度  $T_1$  は、前記サブマウントをヒートシンク又はステムに接着する第2導電性材料の融点温度  $T_2$  よりも高いことを特徴とする請求項1に記載の III族窒化物系化合物半導体レーザ。

【請求項3】 前記半導体層は、 $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_z\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq x+y \leq 1$ ) より形成されていることを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の III族窒化物系化合物半導体レーザ。

【請求項4】 前記共振器は、ストライプ形状の平頂部を有するメサ型の端面発光型であることを特徴とする請求項1乃至請求項3の何れか1項に記載の III族窒化物系化合物半導体レーザ。

【請求項5】 前記平頂部の最小幅、最小径、又はストライプ幅は、 $5\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項1乃至請求項4の何れか1項に記載の III族窒化物系化合物半導体レーザ。

【請求項6】 前記第1導電性材料は、更に、スズ(Sn)又は鉛(Pb)を含むことを特徴とする請求項1乃至請求項5の何れか1項に記載の III族窒化物系化合物半導体レーザ。

【請求項7】 正電極、負電極、リード電極、又はサブマウントの内の少なくとも何れか1つを構成する金属層又は導電体の少なくとも一部分は、モリブデン(Mo)、又はモリブデン(Mo)を含んだ合金より形成されていることを特徴とする請求項1乃至請求項6の何れか1項に記載の III族窒化物系化合物半導体レーザ。

【請求項8】 前記半導体層に対するエッチング等の対象とされずに残された前記共振器以外の浸食残骸部を有し、前記浸食残骸部の平頂部は、前記共振器の前記平頂部と略同じ高さであることを特徴とする請求項1乃至請求項7の何れか1項に記載の III族窒化物系化合物半導体レーザ。

【請求項9】 前記浸食残骸部は、前記エッチング等に

よりその平頂部に対して傾斜して露出された側壁を有し、少なくとも、前記浸食残骸部の前記側壁から前記浸食残骸部の前記平頂部の一部分にまで、金属層を成膜させることにより、前記浸食残骸部上に負電極がテーパ形状に形成されていることを特徴とする請求項8に記載の III族窒化物系化合物半導体レーザ。

【請求項10】 ヒートシンク、リードフレーム、ステム、前記サブマウント等の基材の少なくとも一部分、又は、前記正電極付近に配置される絶縁材料の少なくとも一部分は、ダイヤモンド、窒化アルミニウム(AlN)、炭化珪素(SiC)、又はシリコン(Si)より形成されていることを特徴とする請求項1乃至請求項9の何れか1項に記載の III族窒化物系化合物半導体レーザ。

【請求項11】 前記正電極は、ロジウム(Rh)、ニッケル(Ni)、コバルト(Co)、ルテニウム(Ru)、白金(Pt)、パラジウム(Pd)、金(Au)、モリブデン(Mo)、又は、これらの金属元素の内の少なくとも1種類以上の金属を含んだ合金より形成されていることを特徴とする請求項1乃至請求項10の何れか1項に記載の III族窒化物系化合物半導体レーザ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、基板の上に III族窒化物系化合物半導体から成る複数の半導体層を積層することにより形成され、接続するサブマウントに対してジャンクションダウンでボンディングされるフリップチップ型の半導体レーザに関する。

## 【0002】

【従来の技術】ジャンクションダウンでボンディングされるフリップチップ型の半導体レーザとしては、例えば、公開特許公報「特開平10-200213：窒化ガリウム系半導体レーザ」（以下、「前例1」と言う。）や、公開特許公報「特開平10-233549：窒化物半導体レーザ」（以下、「前例2」と言う。）等に記載されているものが、一般に知られている。

【0003】これらの公開特許公報では、電極を有する半導体素子がダイレクトボンディングによりジャンクションダウンで直接ヒートシンクに接続された、フリップチップ型の半導体レーザが開示されている。

【0004】上記の前例1においては、上記のダイレクトボンディングを行うための半田材としてAuSnが使用されている。従来より、このような融点の高い(200℃を越える)半田材を使用する理由としては、次の2つが有る。

【0005】(熱伝導率劣化対策)：長時間の駆動(通電)に伴う、半田の劣化、半田のマイグレーション、又は、半田の合金化反応等による熱抵抗(熱伝導率の逆数)の時径的变化、即ち、長時間使用後の半田及びその



周辺の熱抵抗の時径的増大に対する対策として、融点が高く熱抵抗劣化率の低い材料を選択する。（電気伝導率劣化対策）：長時間の駆動（通電）に伴う、半田の劣化、半田のマイグレーション、又は、半田の合金化反応等によるしきい値電流の時径的変化、即ち、長時間使用後のしきい値電流の時径的増大に対する対策として、融点が高くしきい値電流劣化率の低い材料を選択する。

【0006】また、上記の2件の公開特許公報には殆ど記載されていないが、フリップチップ型の半導体素子を製造する場合、素子を正確、安定、かつ、確実に固定するために、上記のダイレクトボンディングは実施せずに、サブマウントを用いることが有る。

【0007】この様な従来技術では、一般に、正電極とサブマウント（又はサブマウントの表面上に成膜されたリード電極）とを接着する第1導電性材料の融点温度 $T_1$ は、このサブマウントをその後ヒートシンク又はステム等に接着する第2導電性材料の融点温度 $T_2$ よりも高くなければならない（ $T_1 > T_2$ ）という制約が有ったため、この第1導電性材料としては、Au系、Sn系、或いは、AuSn等の様な融点（ $T_1$ ）の高い半田材が使用されてきた。

【0008】この「 $T_1 > T_2$ 」成る制約の根拠としては、先に使用される半田材（第1導電性材料）が後の製造工程（第2導電性材料を用いる工程）で融解してしまう恐れが無い様にするためである。

【0009】また、サブマウントはヒートシンク側に熱を素早く逃がす働きを奏しなければならず、このため、熱伝導率の高い材料がサブマウントの材料として選択される。従って、この「 $T_1 > T_2$ 」成る制約は非常に強い。即ち、使用されるサブマウントの熱伝導率が高いため、第1導電性材料として使用すべき半田等の融点温度 $T_1$ は、その後ヒートシンク又はステム等に接着する際に用いられる第2導電性材料の融点温度 $T_2$ よりも、十分に高い値でなければならない。

【0010】これらの理由により、従来技術において、特に、フリップチップ型の半導体レーザをジャンクションダウンでサブマウントに直接接続する際には、上記のAuSn等の様な、熱抵抗やしきい値電流の劣化（上昇）を招き難く、かつ、融点（ $T_1$ ）の高い半田材が上記の第1導電性材料として選択、使用されてきた。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、電流狭窄を十分に効率よく発生させるために、特に、共振器或いは共振器平頂部の正電極のストライプ幅（最小幅）を例えば $1 \sim 5 \mu m$ 程度と非常に狭く設計した場合等には、Au系、Sn系、或いは、AuSnなどの融点（ $T_1$ ）の高い半田材を上記の第1導電性材料として使用することによって、以下の様な問題（問題点1～3）が顕著に表面化することが判ってきた。

【0012】（問題点1）AuSnの様な融点（ $T_1$ ）

の高い半田材を上記の第1導電性材料として使用した場合、高温による接着処理時に、半導体レーザの共振器の平頂部付近の半導体層等が、この高温のため比較的大幅に熱膨張する。このため、共振器が常温まで降温（熱収縮）された際に、半導体層（コンタクト層等）と第1導電性材料の間の熱膨張係数の比較的大きな違いにより、比較的大きな歪が正電極付近に発生する。

【0013】（問題点2）AuSn等を上記の第1導電性材料として使用した場合、更に、これらの金属は常温では比較的固いため、上記の歪による応力を十分緩和することができず、この応力は最上層の半導体層（コンタクト層）と正電極との間の極めて狭い境界面に集中する。このため、元来殆ど密着性の無い正電極と半導体層との間では、部分的、或いは全面的な剥離が発生する。

（問題点3）この剥離により、空間的な電流密度の偏りが生じ、これに伴って、発光不均一が生じ、しきい値電流が上昇し、更には、共振器からの発振が停止する。

【0014】また、上記の剥離現象を抑止又は緩和する手段としては、例えば、前記の従来技術の前例2に導入されている様な、幅広で厚手の絶縁膜や正電極パットをスパッタリングや真空蒸着等により成膜する方法等が考えられる。この方法は、サブマウントを使用する場合にもある程度有用と考えられ、上記の剥離現象をある程度抑止又は緩和できるものと期待できる。

【0015】即ち、この様な方法によれば、メサ幅（ストライプ幅）が非常に狭い共振器等の平頂部に対して、半田（第1導電性材料）を使用する際に、この介在する絶縁膜や正電極パットにより半田周辺の熱が広範囲に分散するので、共振器の平頂部付近（特に正電極と直接接触する部分）の半導体層の高熱化が緩和でき、よって、熱膨張（熱収縮）に起因する正電極の剥離現象を抑止／緩和することができるものと思われる。

【0016】しかしながら、この様な絶縁膜や正電極パットをスパッタリングや蒸着等により成膜する方法を採用する場合には、これらのスパッタリングや真空蒸着処理等の製造工程が必須となり、このため、半導体レーザの低コスト化や、生産効率の更なる向上が阻害されるといった問題が残る（問題点4）。

【0017】本発明は、上記の課題を解決するために成されたものであり、その目的は、しきい値電流が安定して低く、正電極の剥離等による発光不均一が生じず、長寿命で、かつ、低コストの半導体レーザを実現することである。

【0018】

【課題を解決するための手段】上記の課題を解決するためには、以下の手段が有効である。即ち、第1の手段は、基板の上にIII族窒化物系化合物半導体から成る複数の半導体層を積層することにより形成され、サブマウントに対してジャンクションダウンでボンディングされるフリップチップ型の半導体レーザにおいて、メサ形

状、リッジ形状等の平頂な島型の共振器と、この共振器の平頂部に形成された最小幅又は最小径が $10\mu\text{m}$ 未満の正電極とを設け、サブマウント又はサブマウントの表面上に成膜されたリード電極と正電極とを、少なくともインジウム(In)を含んだ第1導電性材料により互いに直接接着することである。

【0019】ただし、上記の正電極は、必ずしも共振器の平頂部の全面に渡って形成されていなくとも良い。従って、例えば、共振器自体のメサ幅(最小幅)が $10\mu\text{m}$ 以上であっても、上記の第1の手段により、後から詳

述する本発明の作用・効果を得ることができる。  
【0020】また、第2の手段は、上記の第1の手段において、第1導電性材料の融点温度 $T_1$ をサブマウントをヒートシンク又はステムに接着する第2導電性材料の融点温度 $T_2$ よりも高くすることである。

【0021】また、第3の手段は、上記の第1又は第2の手段において、半導体レーザを構成する半導体層を $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq x+y \leq 1$ ) より形成することである。

【0022】また、第4の手段は、上記の第1乃至第3の何れか1つの手段において、共振器をストライプ形状の平頂部を有するメサ型の端面発光型にすることである。

【0023】また、第5の手段は、上記の第1乃至第4の何れか1つの手段において、共振器の平頂部の最小幅、最小径、又はストライプ幅を $5\mu\text{m}$ 以下にすることである。

【0024】また、第6の手段は、上記の第1乃至第5の何れか1つの手段において、第1導電性材料に、更に、スズ(Sn)又は鉛(Pb)を含有させることである。

【0025】また、第7の手段は、上記の第1乃至第6の何れか1つの手段において、正電極、負電極、リード電極、又はサブマウントの内の少なくとも何れか1つを構成する金属層又は導電体の少なくとも一部分をモリブデン(Mo)、又はモリブデン(Mo)を含んだ合金より形成することである。

【0026】また、第8の手段は、上記の第1乃至第7の何れか1つの手段において、半導体層に対するエッチング等の対象とされずに残された共振器以外の浸食残骸部を設け、この浸食残骸部の平頂部を共振器の平頂部と略同じ高さにするすることである。

【0027】また、第9の手段は、上記の第8の手段において、浸食残骸部の側壁をエッチング等によりその平頂部に対して傾斜して露出させ、少なくとも、この浸食残骸部の側壁から浸食残骸部の平頂部の一部分にまで、金属層を成膜させることにより、浸食残骸部上に負電極をテーパ形状に形成することである。

【0028】また、第10の手段は、上記の第1乃至第9の何れか1つの手段において、ヒートシンク、リードフレーム、ステム、サブマウント等の基材の少なくとも

一部分、又は、正電極付近に配置される絶縁材料の少なくとも一部分をダイヤモンド、窒化アルミニウム( $\text{AlN}$ )、炭化珪素( $\text{SiC}$ )、又はシリコン( $\text{Si}$ )より形成することである。

【0029】更に、第11の手段は、上記の第1乃至第10の何れか1つの手段において、正電極をロジウム(Rh)、ニッケル(Ni)、コバルト(Co)、ルテニウム(Ru)、白金(Pt)、パラジウム(Pd)、金(Au)、モリブデン(Mo)、又は、これらの金属元素の内の少なくとも1種類以上の金属を含んだ合金より形成することである。ただし、この正電極は、多層構造のものであっても良い。その場合には、多層構造の正電極の各層の内の、少なくとも1層を上記の金属層より構成すると良い。以上の手段により、前記の課題を解決することができる。

【0030】

【作用及び発明の効果】本発明によれば、まず、前記の問題点4を解消することができる。即ち、本発明によれば、サブマウント又はサブマウントの表面上に成膜されたリード電極と正電極とは、少なくともインジウム(In)を含んだ第1導電性材料により、互いに直接接着される。従って、絶縁膜や正電極パット等をサブマウント又はリード電極と、正電極との間に形成するスパッタリング又は真空蒸着処理等の製造工程が不要となり、このため、半導体レーザの低コスト化や、生産効率の向上を図ることができる。また、これらの形成工程の省略により、サブマウント(又はリード電極)と正電極との間の熱抵抗は、絶縁膜や正電極パット等が介在しなくなる分低く抑制され、正電極からの放熱効果が高まる。

【0031】また、上記の第1導電性材料は、インジウム(In)を含むが、この金属元素は融点が比較的低い(約 $157^\circ\text{C}$ )。このため、前記の問題点1~3の原因の一つであった熱膨張と熱収縮による歪の量が大幅に削減でき、正電極の剥離現象が抑制される。従って、正電極の剥離等による発光不均一が生じず、しきい値電流が低い半導体レーザを実現することができる。

【0032】また、インジウム(In)は常温でも比較的柔らかい金属であるため、この柔軟性によっても、上記の応力緩和効果は、より効果的、かつ、確実に得ることができる。尚、この応力緩和効果は、正電極の最小幅(又は最小径)が $10\mu\text{m}$ 未満の場合に、特に有効かつ顕著となる。これは、正電極と半導体層との間の境界面が狭い場合程、この境界面に応力が集中し易く、よって、この境界面が狭い場合程、本発明に基づく応力緩和効果が有効かつ重要となるためである。また、共振器の活性層付近での電流狭窄を効果的に発生させるためにも、正電極の最小幅(又は最小径)は $10\mu\text{m}$ 未満とすることが望ましい。

【0033】また、第2導電性材料としては、熱伝導性に十分優れ、かつ、上記の第1導電性材料よりも、更に



融点の低いものを選択すれば良い。このような金属（半田材）としては、例えば、In/Sn等が考えられる。これらの手段により、「 $T_1 > T_2$ 」成る制約を満たすことで、先に使用される半田材（第1導電性材料）が後から実施される製造工程（第2導電性材料を用いる工程）で融解してしまう恐れが無くなる。

【0034】また、共振器の平頂部の最小幅、最小径、又はストライプ幅が、特に $5\mu\text{m}$ 以下の場合には、本発明の効果は極めて大きい。これは、正電極と半導体層との間の境界面が狭い場合程、この境界面に応力が集中し易く、よって、この境界面が狭い場合程、本発明に基づく応力緩和効果が特に有効かつ重要となるためである。また、共振器の活性層付近での電流狭窄を極めて効果的に発生させるためにも、正電極の最小幅（又は最小径）は $5\mu\text{m}$ 以下とすることが望ましい。これにより、しきい値電流が小さく、高出力の半導体レーザを製造できる。

【0035】また、第1導電性材料に、更に、スズ(Sn)又は鉛(Pb)を適量含有させることにより、第1導電性材料の融点、硬度、熱伝導率等を好適、又は最適な値に調整することが可能となる。これにより、固定される半導体レーザや使用されるサブマウントの各種の仕様に応じた好適、又は最適な材料を上記の第1導電性材料として選定することが容易となる。

【0036】また、正電極、負電極、リード電極、サブマウントの内の少なくとも何れか1つの金属層又は導電体の少なくとも一部分をモリブデン(Mo)、又はモリブデン(Mo)を含んだ合金より形成することにより、上記の第1導電性材料や電極金属の、マイグレーション等による時径的劣化を抑制することができる。これは、モリブデン(Mo)が、インジウム(In)を含む半田材（第1導電性材料等）や、金(Au)等を含み得る各電極のマイグレーションを防止するストッパ材としての機能を奏するためである。これにより、電極付近における電気伝導率や熱伝導率等の時径的劣化を防止することができるため、しきい値電流が低く安定し、長寿命の半導体レーザを製造することが可能となる。

【0037】また、共振器の平頂部と略同じ高さの上面を持つ半導体層が部分的にエッチング等の対象とせずに残すことにより、この上面に負電極又は絶縁膜を形成することができる。このため、半導体発光素子（レーザ）をサブマウントに接続する際に、負電極又は絶縁膜の高さと正電極の高さとを容易に略同じにできる。

【0038】これにより、この接続工程が簡単に実施できると共に、半導体発光素子が傾かないため、半導体発光素子をサブマウントに正確、安定、確実、かつ、容易に接続することができる。また、使用する半田等の量も大幅に削減できるため、短絡が発生する恐れも解消され、更に、半田等の材料費が削減できるという効果も生れる。

【0039】また、エッチング等により露出された半導体層の側壁を斜めに形成することにより、この側壁（テーパー部）に、真空蒸着などの方法で負電極をムラなく一定の厚さに形成することが容易となり、接続不良や負電極の高抵抗化等の不具合が発生する恐れが無くなるという効果が得られる。

【0040】また、上記の上面の面積を広く確保することにより、電極を予めリード電極（電極接続パターン）が形成されたサブマウントに接続する際、半導体発光素子の半田等との接触面積を広く取ることができる。この構成によっても、半導体発光素子が安定し易く、確実にサブマウントに接続することが容易となり、放熱効果も大きくなる。

【0041】また、上記のサブマウント等の基材等には、熱伝導率が十分に高く、かつ、電気伝導率が極めて低い材料を選択すれば良い。これらの材料としては、例えば、ダイヤモンド、窒化アルミニウム(AlN)、或いはシリコン(Si)等が挙げられる。これらの材料を選択することにより、電極間の短絡が防止できると同時に、高い放熱効果を得ることができる。

【0042】また、正電極をロジウム(Rh)、ニッケル(Ni)、コバルト(Co)、ルテニウム(Ru)、白金(Pt)、パラジウム(Pd)、又は、これらの金属元素の内の少なくとも1種類以上の金属を含んだ合金より形成することにより、これらの金属は、半導体層との密着性が優れているため、前記の剥離現象が生じ難くなる。

【0043】また、正電極を多層構造にする場合、その内の1層に金(Au)又は金(Au)を含んだ合金を用いれば、金(Au)は熱伝導性に優れているため高い放熱効果が得られると同時に、電気伝導性に優れているため横方向の電流密度のムラを軽減することができ、よって、高熱化やそれに伴う合金化、或いはしきい値電流の増大を抑止できる。

【0044】また、モリブデン(Mo)はインジウム(In)や金(Au)のマイグレーションを防止する機能を奏するため、特に、正電極の最後に積層される金属層に有用である。

【0045】尚、これらの作用・効果は、少なくともAl, Ga, In, N ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq x + y \leq 1$ ) にて表される2元系、3元系、若しくは4元系の半導体から成る半導体層が積層されたIII族窒化物系化合物半導体レーザ一般に対して得ることができる。また、更に、III族元素の一部は、ボロン(B)、タリウム(Tl)で置き換えても良く、また、窒素(N)の一部をリン(P)、砒素(As)、アンチモン(Sb)、ビスマス(Bi)で置き換えても良い。

【0046】また、半導体結晶の成長基板には、サファイア、スピネル、シリコン、炭化シリコン、酸化亜鉛、リン化ガリウム、砒化ガリウム、酸化マグネシウム、酸

化マンガ、酸化ガリウムチチウム ( $\text{LiGaO}_2$ )、硫化モリブデン ( $\text{MoS}$ ) 等の材料を用いることができる。

#### 【0047】

【発明の実施の形態】以下、本発明を具体的な実施例に基づいて説明する。ただし、本発明は以下に示す実施例に限定されるものではない。

(第1実施例) 図1は、本第1実施例における III族窒化物系化合物半導体レーザ100 (以下、単に「半導体レーザ100」と言う場合がある。) の接続固定状態を表す模式的な断面図である。後から図2を用いて詳述するが、半導体レーザ100は、サファイヤ基板101、III族窒化物系化合物半導体より成る半導体層102～105、正電極106、及び負電極107より構成された半導体素子である。

【0048】窒化アルミニウム ( $\text{AlN}$ ) より形成されたサブマウント10の上面 (表側) には、正電極106と接続されるべきリード電極14と、負電極107と接続されるべきリード電極16が、それぞれ  $\text{Au}/\text{Mo}$  を真空蒸着することにより成膜されている。また、サブマウント10の下面 (裏側) には、ニッケル ( $\text{Ni}$ ) より成る金属層15が形成されている。

【0049】上記の半導体レーザ100は、その正電極106とリード電極14とを直接接続するインジウム ( $\text{In}$ ) より成る半田材 (第1導電性材料) 11と、負電極107とリード電極16とを直接接続するその他の導電性材料 (半田材) 13とによって、サブマウント10の上面 (表側) に直接接着されている。ただし、この半田材13は、第1導電性材料11と同一の半田材であっても良い。その方が、半田材の材料管理、使用手順管理、及び接着温度管理等の製造工程管理の面で簡単となり、有利である。

【0050】また、半導体レーザ100が接続固定されたサブマウント10の裏側 (金属層15側) は、銅 ( $\text{Cu}$ ) 製のヒートシンク19の上面に、融点温度  $T_2$  が約  $117^\circ\text{C}$  の  $\text{In}/\text{Sn}$  より成る半田材 (第2導電性材料) 12により直接接着されている。

【0051】図2は、上記の半導体レーザ100の模式的な斜視図である。サファイヤ基板101の上には、窒化アルミニウム ( $\text{AlN}$ ) から成るバッファ層102が積層されている。更にその上には、シリコン ( $\text{Si}$ ) ドープの  $\text{GaN}$  から成る高キャリア濃度  $n$  層、 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  から成る  $n$  型クラッド層の順に積層された、これら計3層の半導体層より成る  $n$  型層103が形成されている。

【0052】更にその上には、公知の端面発光型レーザに見られる端面発光型の活性層104が形成されている。

【0053】この活性層104の上には、マグネシウム ( $\text{Mg}$ ) ドープの  $p$  型  $\text{Al}_{0.12}\text{Ga}_{0.88}\text{N}$  から成る  $p$  型クラッド層、及び  $\text{Mg}$  ドープの  $p$  型  $\text{GaN}$  から成る  $p$  型コンタ

ト層の順に積層された、これら計3層の半導体層より成る  $p$  型層105が形成されている。更に、 $n$  型層103は、上方 ( $p$  型層105側) からのエッチングによりその一部が露出され、本エッチングにより、平頂な共振器部分と、浸食残骸部とが形成されている。

【0054】共振器 (メサ部) のストライプ幅  $\Delta$  は、約  $2\mu\text{m}$  であり、共振器の平頂部  $\Pi$  には、2層構造の正電極106が真空蒸着により成膜されている。この2層構造の正電極106を構成する正電極第1層1061は、膜厚約  $3000\text{\AA}$  のロジウム ( $\text{Rh}$ ) より成り、正電極第2層1062は、膜厚約  $300\text{\AA}$  の  $\text{Au}/\text{Mo}$  より成る。

【0055】また、浸食残骸部の側壁は、上記のエッチングによりその平頂部  $\Sigma$  (半導体の最上層の上面) に対して傾斜している。 $n$  型層の露出部より、この浸食残骸部の側壁を経て、浸食残骸部の平頂部  $\Sigma$  にまでニッケル ( $\text{Ni}$ ) を真空蒸着により成膜させることにより、浸食残骸部上に負電極107がテーパ形状に形成されている (テーパ部  $\tau$ )。このテーパ部の傾斜は、十分になだらかなため、このテーパ部にはムラなく十分に膜厚のある負電極107が形成されている。また、正電極106と負電極107の両者は、それぞれ各平頂部  $\Pi$ 、 $\Sigma$  においては、互いに略同じ膜厚に積層 (蒸着) されている。

【0056】図3は、上記の半導体レーザ100の正電極をサブマウント10に接続する前に、サブマウント10に第1導電性材料11を配置した時の、サブマウント10の模式的な断面図 (a) 及び平面図 (b) である。インジウム ( $\text{In}$ ) より成る第1導電性材料11は、約  $1\sim 3\mu\text{m}$  の厚さに、リード電極14の上に盛られる。

【0057】図4、図5は、半導体レーザ100駆動時のサブマウント10の裏面 (図1、図3の平面  $\alpha$ ) を  $B$  方向から撮影した写真、及び、その模式的な平面図である。ただし、この撮影時点でのサブマウント10は、半導体レーザ100とは接着されているが、ヒートシンク19とは接着されていない。

【0058】本図4、図5に示す様に、共振器の平頂部  $\Pi$  のストライプ形状に沿って、サブマウント10が一樣に明るく光っている様子が判る。このようにストライプ形状が均一に輝いて見えるのは、正電極が共振器の平頂部  $\Pi$  の半導体層 ( $p$  コンタクト層105) にムラなく一樣に接触しており、接触抵抗が低く、かつ、略均一であるためである。この時の半導体レーザ100の発振状況は極めて良好であり、しきい値電流も長時間安定して低かった。

【0059】一方、本第1実施例との比較対象として試作され、サブマウント10に接続固定された半導体レーザ100の接続固定状態を表す模式的な断面図を図12に示す。この比較対象として試作された半導体レーザ100は、上記の第1実施例の半導体レーザ100と同一のものであるが、半田21、23においては、従来技術と同様の  $\text{Au}/\text{Sn}$  が使用されている。



【0060】図13、図14は、半導体レーザ100駆動時のサブマウント10の裏面（図12の平面β）を、図4、図5と同様に、B方向から（裏側から）撮影した写真、及び、その模式的な平面図である。ただし、この撮影時点でのサブマウント10は、半導体レーザ100とは接着されているが、ヒートシンク19とは接着されていない。

【0061】本図13、図14に示す様に、共振器の端面付近が斑にぼやけて暗く光っている様子が判る。このようにストライプ形状が均一に現れないのは、正電極が共振器の平頂部IIの半導体層（pコンタクト層105）に対して点在して、即ち、斑に接触しているためであり、接触抵抗は、共振器の平頂部IIの全面に渡って高く、かつ、部分的に偏っている。

【0062】本第1実施例においては、図1～図5に示した様に半導体レーザ100をインジウム(In)より成る第1導電性材料11を用いて接続・固定することにより、しきい値電流が安定して低く、正電極の剥離等による発光不均一が生じず、長寿命でかつ低コストの半導体レーザを製造することができた。

【0063】（第2実施例）図6は、本第2実施例のIII族窒化物系化合物半導体レーザ200の接続固定状態を表す模式的な断面図である。本半導体レーザ200の活性層104を中心とする半導体の積層構成は、第1実施例のレーザ100の半導体積層構成と略同じであり、特にレーザ100との大きな差異がない半導体層については、同一の記号を付している。また、正電極106についても同様である。

【0064】本レーザ200のp型層105の上側の略全面には、正電極106と略同じ厚さの絶縁膜210が成膜されている。また、本レーザ200の結晶成長基板には、電気伝導性を示すn型ドーパのシリコン(Si)基板201が用いられている。更に、このシリコン基板201の裏面には、ニッケル(Ni)より成る負電極207が蒸着により、成膜されている。

【0065】また、本レーザ200の正電極106及び絶縁膜210は、サブマウント10の表面に形成されたリード電極14にインジウム(In)より成る第1導電性材料11により直接接続されている。また、負電極207には、リード線204がワイヤーボンディングにより接続されている。

【0066】この様に、III族窒化物系化合物半導体レーザ200を構成し、接続することにより、本レーザ200は、第1実施例のIII族窒化物系化合物半導体レーザ100と略同様の効果を実現している。

【0067】（第3実施例）図7は、本第3実施例のIII族窒化物系化合物半導体レーザ300の模式的な斜視図である。本レーザ300は、面発光型の共振器を2つ備えており、n型層303、活性層304、p型層305の計3層は、それぞれ公知の面発光型レーザに見られ

る面発光に好適な半導体層が形成されている。

【0068】本レーザ300のその他の構成要素には、特に、前記のレーザ100、又は200との大きな差異がないものについては、各々同一の記号を付している。ただし、本レーザ300は、面発光型であるため、図2のn型層103、活性層104、p型層105は、面発光型のn型層303、活性層304、p型層305と読み替えるものとする。

【0069】図7から判る様に、本レーザ300の正電極106と負電極107との間には、レーザ100と同様に、十分な間隔が確保されており、半田で接続する際に短絡の恐れが無い。

【0070】この様に、III族窒化物系化合物半導体レーザ300を構成し、接続することにより、本レーザ300においても、第1実施例のIII族窒化物系化合物半導体レーザ100と同様に、本発明の作用・効果を得ることができる。

【0071】（第4実施例）図8は、本第4実施例のIII族窒化物系化合物半導体レーザ400の接続固定状態を表す模式的な断面図である。本レーザ400の共振器は、リッジ型に構成されているが、その他の構成については第1実施例のレーザ100の半導体積層構成と略同じであり、特にレーザ100との大きな差異がない半導体層については、同一の記号を付している。また、正電極106についても同様である。

【0072】この様に、III族窒化物系化合物半導体レーザ400をリッジ型に構成し、サブマウント10の表面に形成されたリード電極14にインジウム(In)より成る第1導電性材料11により直接接続することにより、本レーザ400においても、第1実施例のIII族窒化物系化合物半導体レーザ100と同様に、本発明の作用・効果を得ることができる。

【0073】（第5実施例）図9は、本第5実施例のIII族窒化物系化合物半導体レーザ500の接続固定状態を表す模式的な断面図である。101はサファイア基板、102はバッファ層、103はn型窒化ガリウム系化合物半導体層、104は活性層、105はp型窒化ガリウム系化合物半導体層、106は正電極、107は負電極である。

【0074】また、10は予めリード電極14、16が形成されたサブマウントであり、インジウムより成る第1導電性材料11及び半田13により上記の正電極106および負電極107と各々接続固定されている。本図断面におけ正電極106のp型窒化ガリウム系化合物半導体層（p型コンタクト層）105との接触部分のストライプ幅Δは、電流狭窄を起こさせるために約1～3μmと非常に狭くなっている。

【0075】そして、この半導体レーザ500の最も大きな特徴の一つは、二酸化珪素(SiO<sub>2</sub>)より成る絶縁膜110が、共振器全体を覆っており、更に、その絶

10

20

30

40

50



縁膜110の上に正電極106が広範に渡って形成されている点にある。

【0076】本図9からも判るように、この構成によれば、正電極106の表面積は従来よりも大幅に広く、また、正電極106は共振器を包む構造となっているので、前記の実施例1～4で得られた効果に加え、更に、電流狭窄による活性層からの発熱を外部に放熱し易いという効果が得られる。

【0077】(第6実施例) 図10に、本第6実施例におけるIII族窒化物系化合物半導体レーザ100の接続固定状態を表す模式的な断面図を示す。本実施例のIII族窒化物系化合物半導体レーザ100は、図2に記載した第1実施例におけるIII族窒化物系化合物半導体レーザ100と同じものである。

【0078】ただし、サブマウント10に対する接続固定状態は、以下の点で異なっている。即ち、サブマウント10は、金属か、或いは、Si等の熱伝導率の比較的高い導電性材料より形成されており、ダイヤモンドより形成されている絶縁層(絶縁部材)10aを有している。

【0079】例えば、この様に正電極106の近傍に、ダイヤモンド等の熱伝導率の極めて高い材料を配置することにより、活性層104等から発生する熱を効率よく放熱することができる。特に、本第6実施例の様に絶縁効果が必要となる絶縁部に部分的に、最小量のダイヤモンドを使用することにより、比較的安い材料コストで最大限の放熱効果を得ることが可能となる。この効果は、極力薄い板形状のダイヤモンドを使用することにより実現でき、より望ましくは、本図10に図示する様に、水平にこの薄板状のダイヤモンドで形成された絶縁部材を配置すべきである。この手段により、特に横方向の熱伝導効果が顕著に増大するので、装置全体としても十分に高い放熱効果が比較的低コストで得ることができるようになる。

【0080】また、より高い放熱効果を得るために、材料費は若干増加するが、図10の絶縁層10aを更に横方向に延長して、リード電極16の直下にまで絶縁層10aを配置する構成としても良い。これらの手段により、比較的低コストでサブマウント10の全体に高い放熱効果を持たせることが可能となる。

【0081】また、図10に示す様な本第6実施例の構成によれば、サブマウント10は、金属などの導電性材料から構成することもできるため、負電極107側に通電させる配線の接続部位はリード電極16に限らず、サブマウント10や、ヒートシンク19等にも直接給電線を接続することが可能となる。これにより、回路設計時の負電極107側への給電線路の接続部位に関する自由度が向上する。

【0082】尚、以上の各実施例では、正電極106の半導体層(コンタクト層)105に接する部分(図2で

は、正電極第1層1061)は、ロジウム(Rh)で構成されていたが、この部分は、ニッケル(Ni)、コバルト(Co)、ルテニウム(Ru)、白金(Pt)、パラジウム(Pd)或いはこれらの金属元素を少なくとも1種類以上含んだ合金より構成してもよい。また、正電極106は、必ずしも多層構造である必要はない。

【0083】図11に、半導体レーザの正電極に用いられる主な金属元素の特性を纏めた一覧表を示す。これらの様に、半導体層との密着性の高い金属を正電極106に用いれば、正電極の剥離が発生しにくい半導体レーザを製造することができる。

【0084】また、例えば、図2の正電極第2層1062等の様に、正電極の多層構造の内の1金属層にAu又はAu/Mo等の、金を含んだ合金を使用する場合には、その金属層と半導体層との間の層には、ロジウム(Rh)、ニッケル(Ni)、コバルト(Co)或いはこれらの金属元素を少なくとも1種類以上含んだ合金を用いると、特に良い。これは、図11にも示す様に、Auのマイグレーション等の時径的特性変化を抑制するためである。

【0085】また、例えば、パラジウム(Pd)等の、比較的半導体層との密着性の低い金属を正電極の主要金属層(比較的厚い金属層)にする場合には、コバルト(Co)等の密着性の高い金属層を半導体層の直ぐ上に直接薄目に形成する方法が有用である。この場合のコバルト(Co)等の薄膜金属層の膜厚は、10Å程度で良い。また、この薄膜金属層を成膜後、焼き鈍し(加熱処理)をする方法も有効である。これにより、密着性が向上し、接触抵抗が減少する。

【0086】また、上記の各実施例においては、インジウムより成る第1導電性材料11を使用した。第1導電性材料11に用いる金属としては、インジウム(In)の他にインジウムを含んだ合金が有用である。このインジウム(In)を含んだ合金としては、例えば、In/Snや、In/Pb等が特に良い。これらの混合比は、熔融温度、熱伝導率、電気伝導率、線膨張係数、硬度等の諸値より、決定する。

【0087】例えば、熔融温度(融点温度)については、正電極とサブマウント(又はサブマウントの表面上に成膜されたリード電極)とを接着する第1導電性材料の融点温度T1が、このサブマウントをその後ヒートシンク又はステム等に接着する第2導電性材料の融点温度T2よりも高くなる様に(T1>T2)、上記の混合比を決定すれば良い。また、第1導電性材料の熱伝導率、電気伝導率は高い程よく、第1導電性材料の線膨張係数、硬度は小さい程良い。

【0088】尚、上記の各実施例におけるn型層およびp型層は、それぞれ複数の層で構成してもよく、単数の層構成としても良い。また、活性層、及びその他の層は、任意の混晶比の4元、3元、2元系のAl, Ga, In

15 N ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq x + y \leq 1$ )  
として良い。

【0089】また、上記の各実施例における III族窒化物系化合物半導体より成る各半導体層は、4 元素の AlGaInN、3 元素の AlGaInN、GaInN、AlInN、2 元素の AlN、GaN、InN、及び、これらに III族元素をドーピングしたもの（例えば、Al、Ga よりも原子半径の大きい In 等をドーピングしたもの。ただし、ドーパントは組成比に現われる程は添加しない。）、V 族元素をドーピングしたもの（例えば、N よりも原子半径の大きい、P、As、Sb 等をドーピングしたもの。）でも良い。又、AlGaInN における N（窒素）の一部を例えば、P、As、Sb 等と置換した AlGaInNP、AlGaInNAs、AlGaInNSb 等でも良い。即ち、一般に、本発明の半導体レーザを構成する III族窒化物系化合物半導体より成る各半導体層は、窒素を含む III族-V 族化合物半導体なら使用可能である。

【0090】また、バッファ層には、AlN、AlGaInN、InAlGaInN 等の III族窒化物系化合物半導体の他にも、窒化チタン(TiN)、窒化ハフニウム(HfN)等の金属窒化物や、酸化亜鉛(ZnO)、酸化マグネシウム(MgO)、酸化マンガン(MnO)等の金属酸化物を用いてもよい。

【0091】また、p 型不純物（アクセプタ不純物元素）としては、マグネシウム(Mg)の他、ベリリウム(Be)、亜鉛(Zn)等の II 族元素又は、IV 族元素を使用でき、ドナー不純物元素には、シリコンの他、IV 族元素、VI 族元素を用いることができる。2 族元素を用いることができる。また、これらがドーピングされた p 型半導体層をより低抵抗にするためには、更に、電子線照射やアニーリングなどの活性化処理を行っても良い。

【0092】また、高キャリア濃度  $n^+$  層は、シリコン(Si)ドーピングの窒化ガリウム(GaN)より形成しても良いが、或いは、上記の III族窒化物系化合物半導体に、シリコン(Si)、ゲルマニウム(Ge)等の IV 族元素、又は、VI 族元素をドーピングすることにより形成しても良い。

【0093】また、半導体結晶の成長基板には、サファイア基板やシリコン(Si)基板の他にも、炭化珪素(SiC)、GaN、MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>、酸化亜鉛(ZnO)、酸化マグネシウム(MgO)、酸化マンガン(MnO)等を用いることができる。

【0094】尚、本発明の各手段は、前記の第 3 実施例でも示した様に、面発光型の半導体レーザに対して適応した場合にも有効であり、この様な場合においても一般に、端面発光型の半導体レーザの場合と同様に、本発明の作用・効果を得ることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 実施例における III族窒化物系化合物半導体レーザ 100 の接続固定状態を表す模式的な断面図。

【図 2】半導体レーザ 100 の模式的な斜視図。

【図 3】半導体レーザ 100 を接続する第 1 導電性材料 11 を配置したサブマウント 10 の模式的な断面図 (a) 及び平面図 (b)。

【図 4】半導体レーザ 100 駆動時のサブマウント 10 を B 方向から撮影した写真。

【図 5】半導体レーザ 100 駆動時のサブマウント 10 を B 方向から目視した模式的な平面図。

【図 6】本発明の第 2 実施例における III族窒化物系化合物半導体レーザ 200 の接続固定状態を表す模式的な断面図。

【図 7】本発明の第 3 実施例における III族窒化物系化合物半導体レーザ 300 の模式的な斜視図。

【図 8】本発明の第 4 実施例における III族窒化物系化合物半導体レーザ 400 の接続固定状態を表す模式的な断面図。

【図 9】本発明の第 5 実施例における III族窒化物系化合物半導体レーザ 500 の接続固定状態を表す模式的な断面図。

【図 10】本発明の第 6 実施例における III族窒化物系化合物半導体レーザ 100 の接続固定状態を表す模式的な断面図。

【図 11】半導体レーザの正電極に用いられる主な金属元素の特性を纏めた一覧表。

【図 12】本発明との比較対象として試作され、サブマウント 10 に接続固定された半導体レーザ 100 の接続固定状態を表す模式的な断面図。

【図 13】本発明との比較対象として試作され、サブマウント 10 に接続固定された半導体レーザ 100 の駆動時のサブマウント 10 を B 方向から撮影した写真。

【図 14】本発明との比較対象として試作され、サブマウント 10 に接続固定された半導体レーザ 100 の駆動時のサブマウント 10 を B 方向から目視した模式的な平面図。

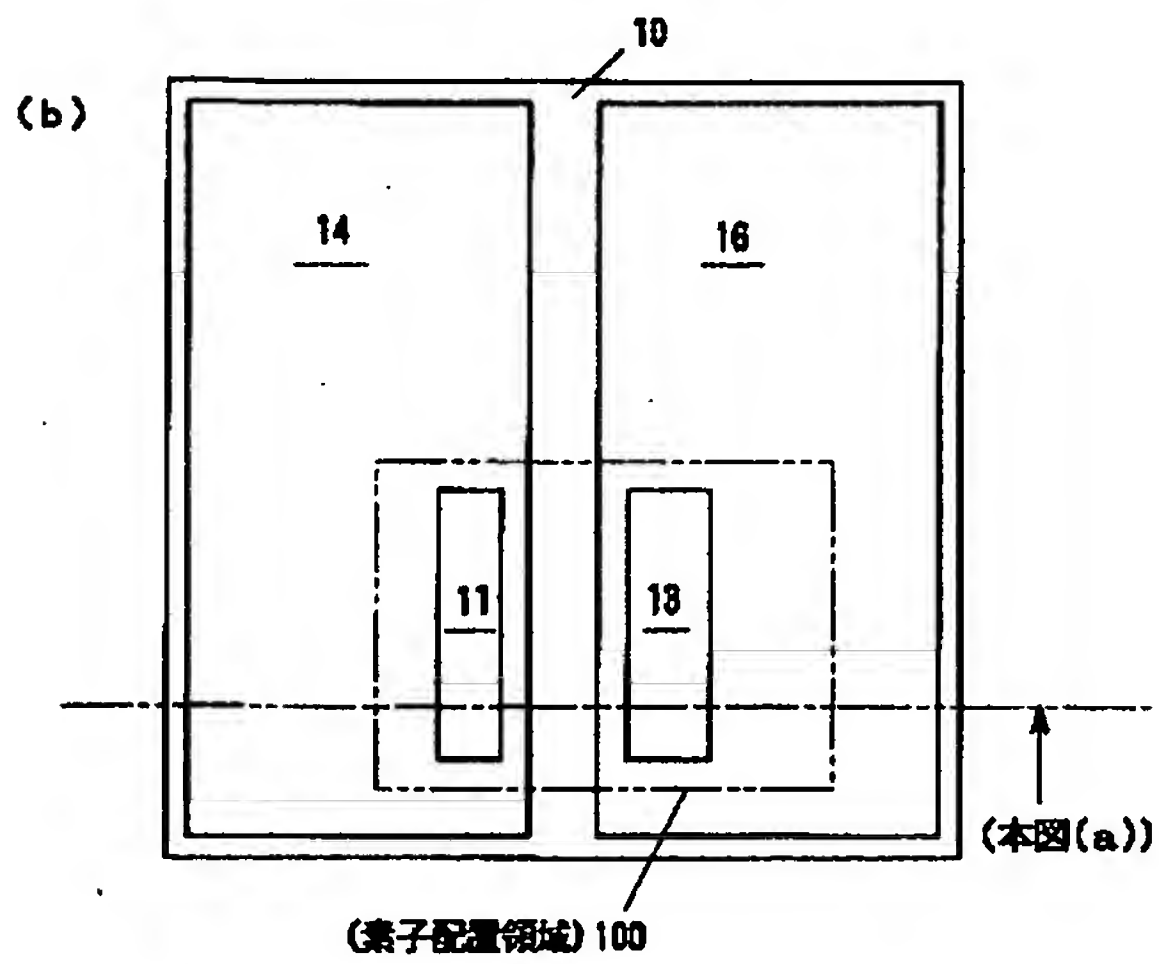
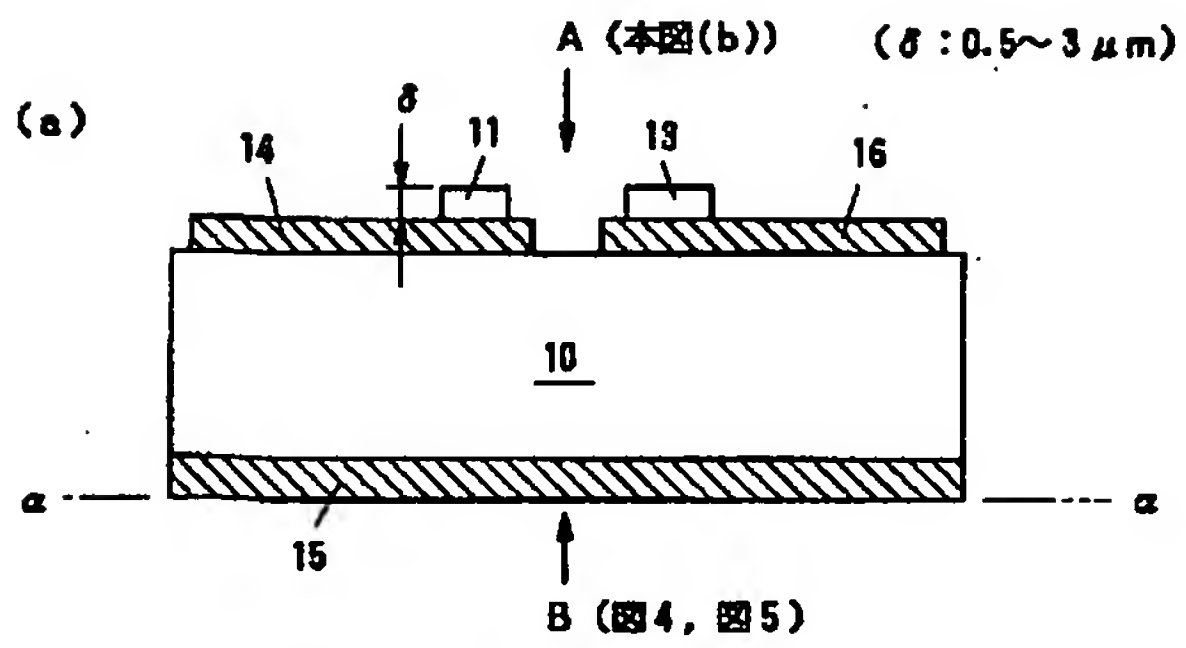
#### 【符号の説明】

- 10 … サブマウント
- 10a … 絶縁層（ダイヤモンド）
- 11 … 第 1 導電性材料（半田材等）
- 12 … 第 2 導電性材料（半田材等）
- 13 … 導電性材料（半田材等）
- 14 … リード電極（p 側）
- 15 … 金属層（裏側）
- 16 … リード電極（n 側）
- 19 … ヒートシンク（又は、ステム）
- 100, 200, 300, 400, 500 … III族窒化物系化合物半導体レーザ（電極を有する半導体発光素子）
- 101 … 結晶成長基板
- 102 … バッファ層
- 103,

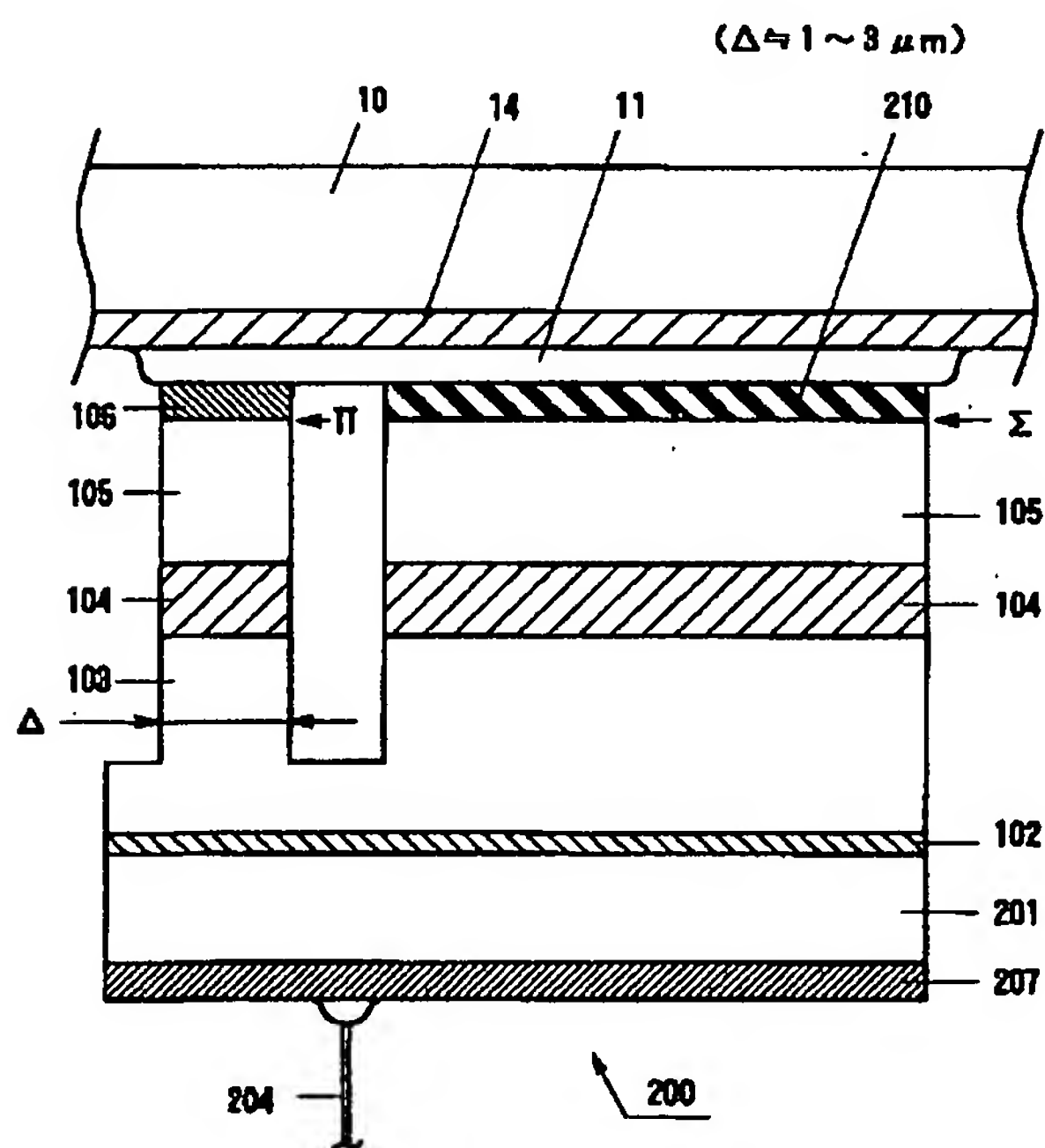




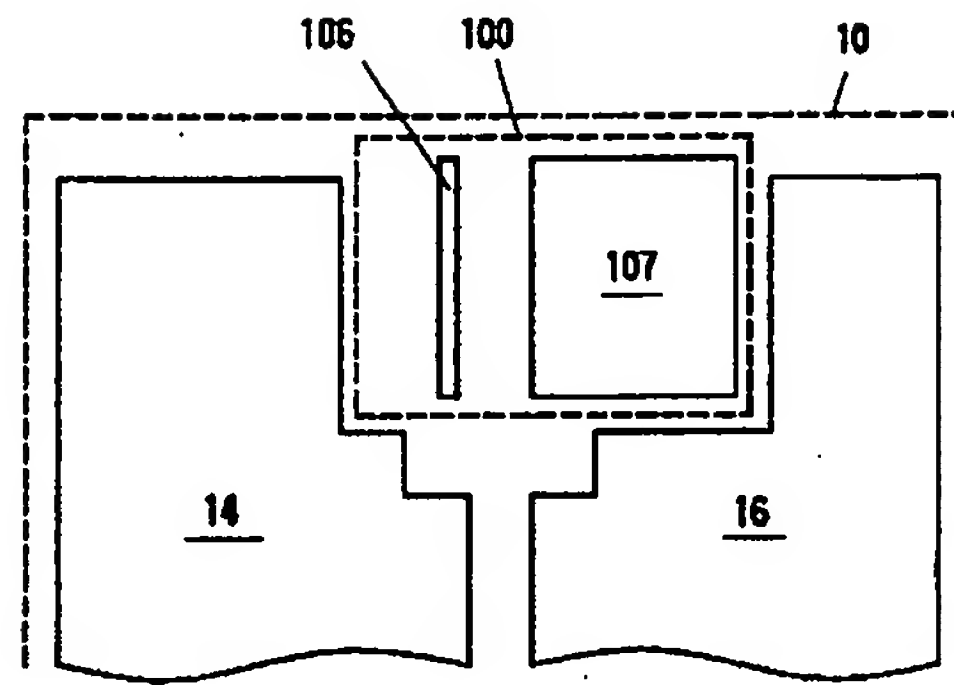
【図3】



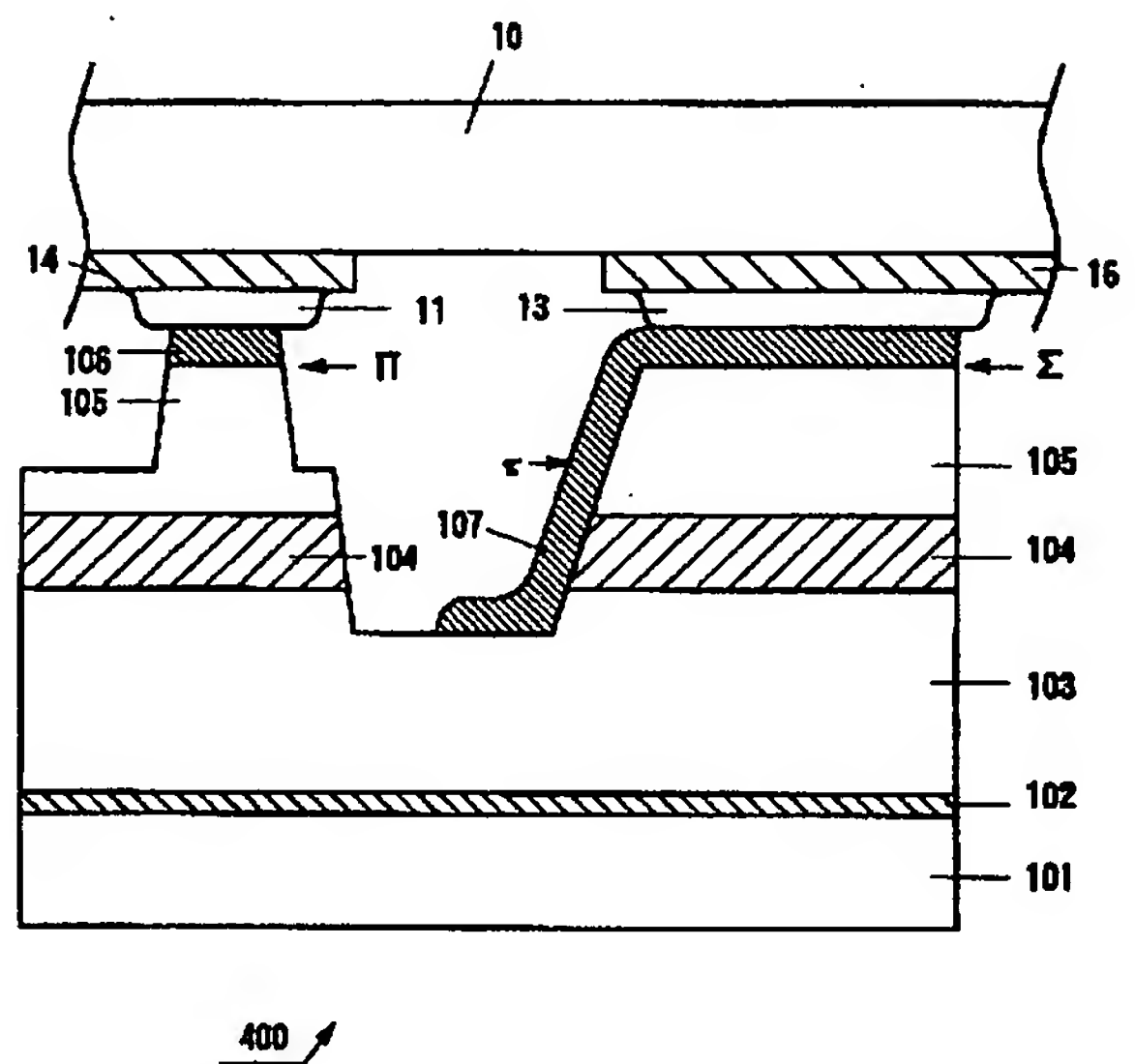
【図6】



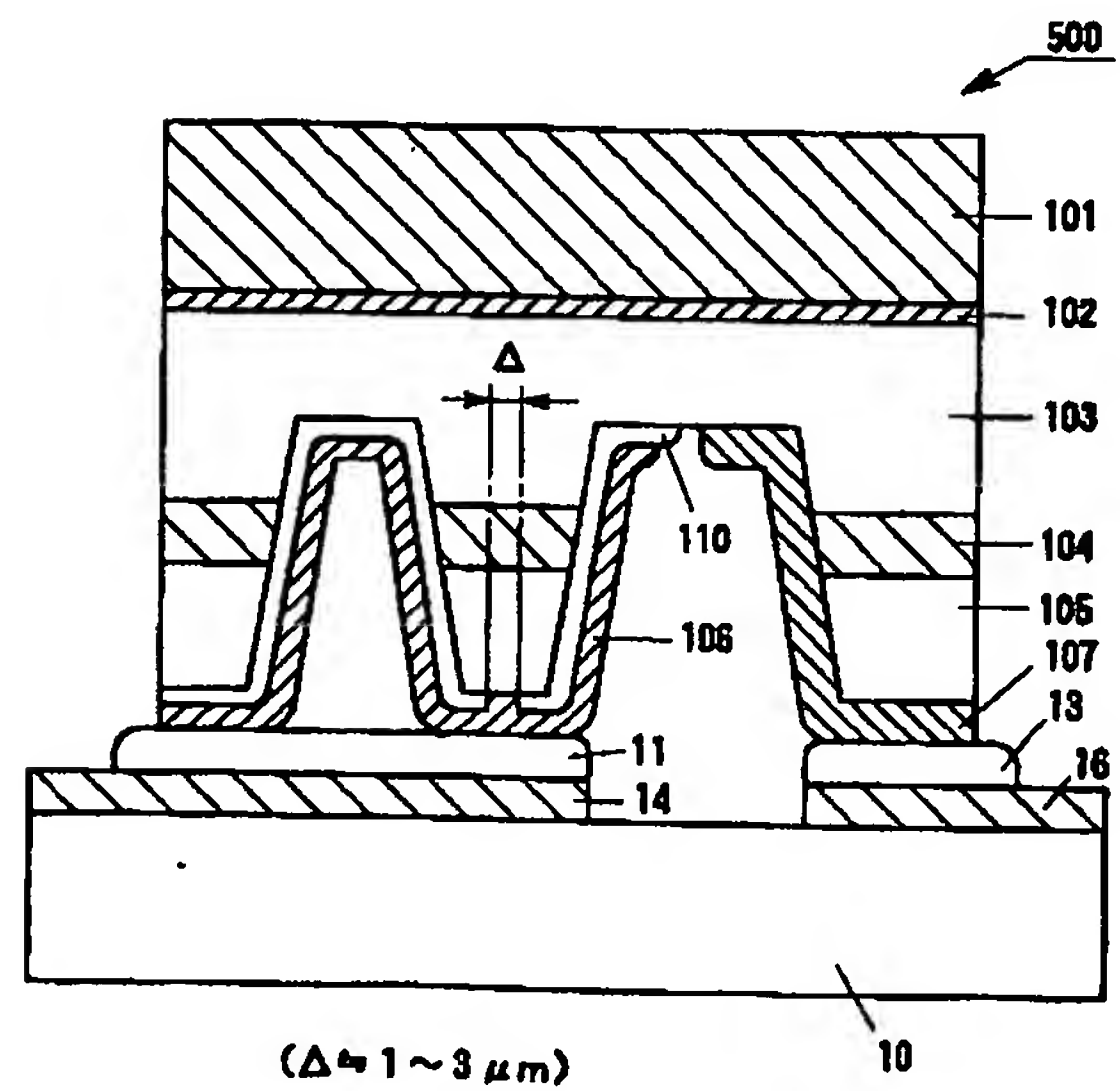
【図5】



【図8】

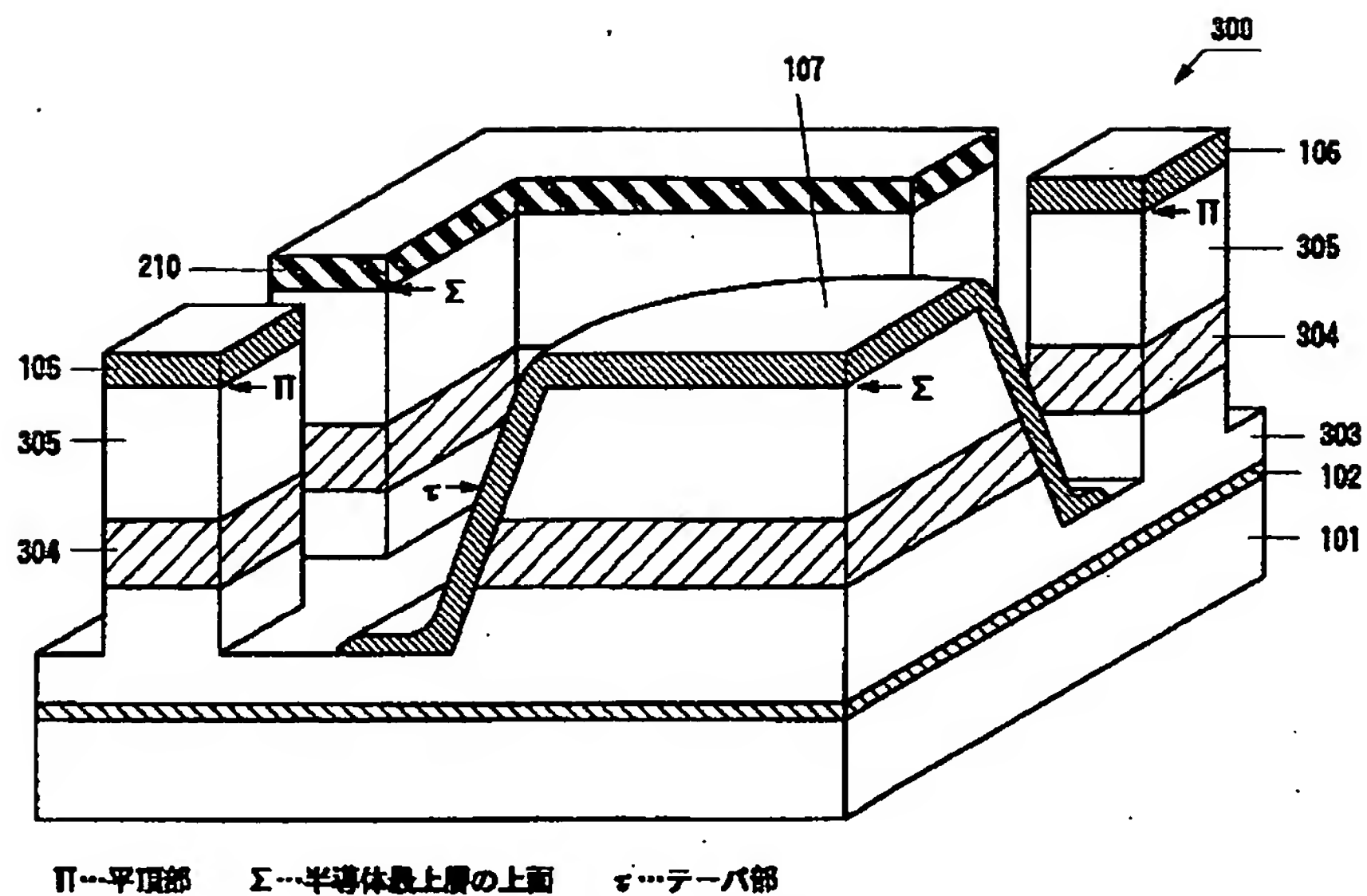


【図9】

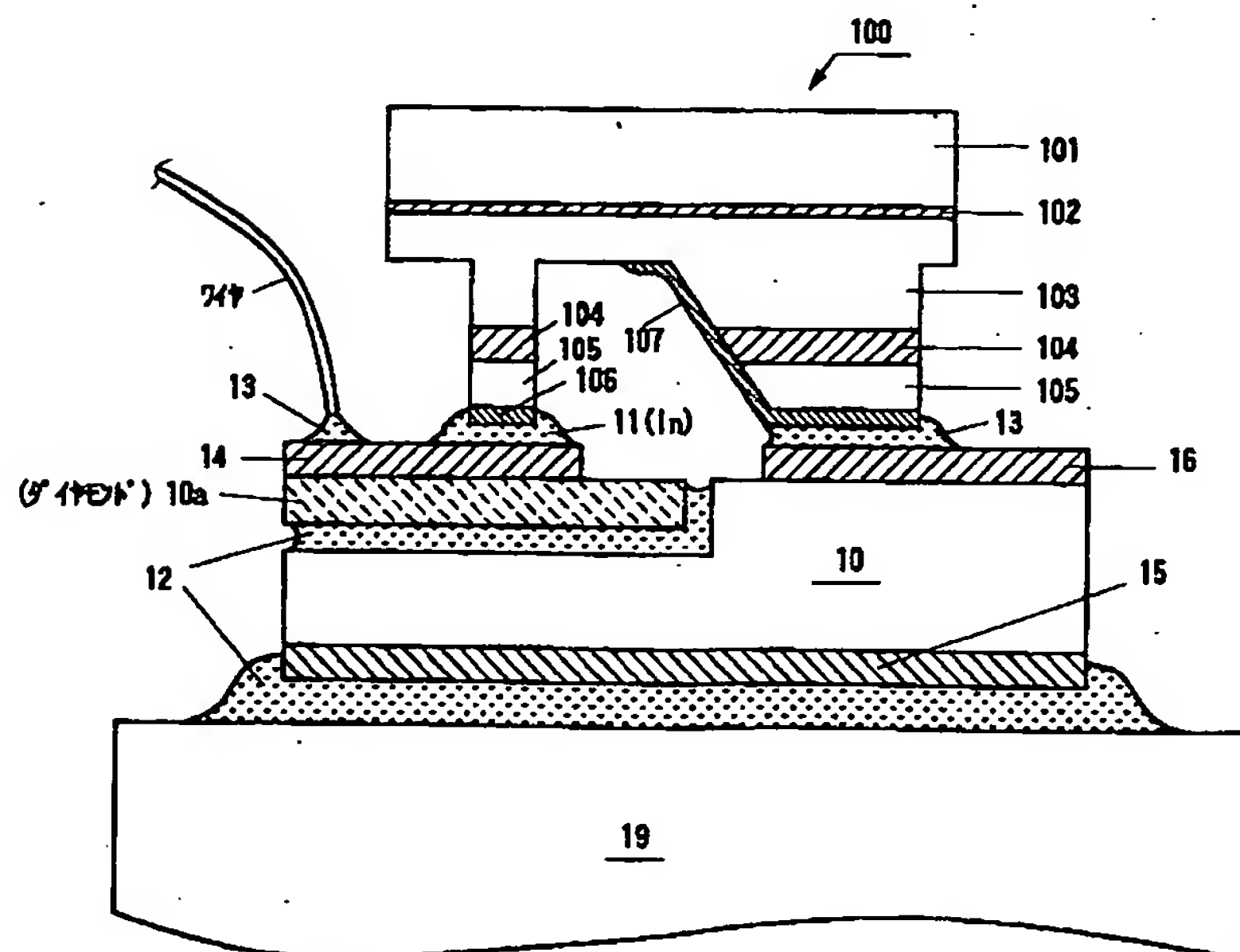




【図7】



【図10】

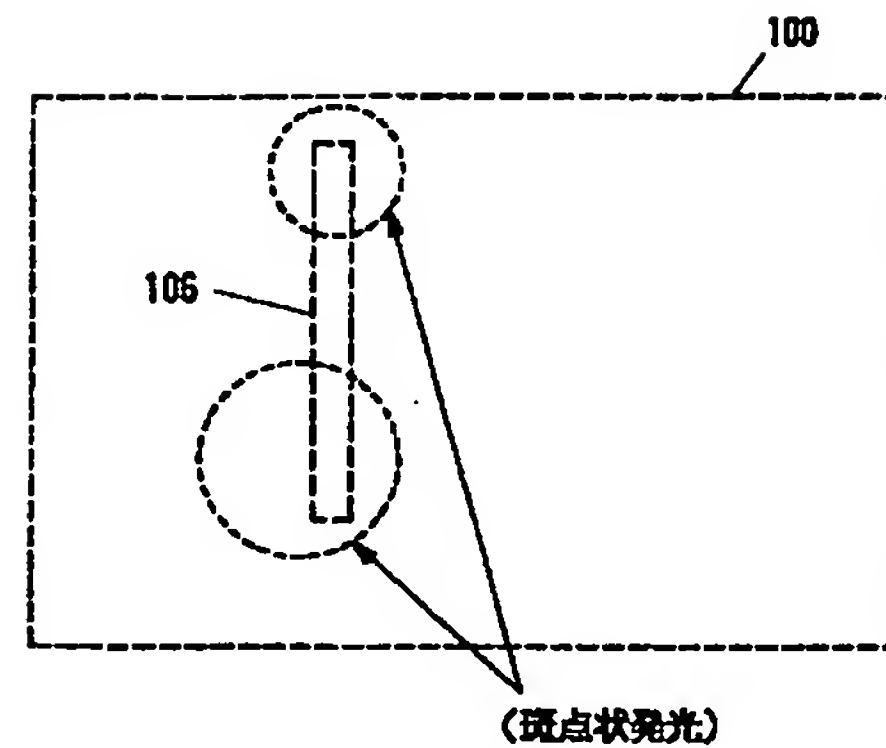


【図 1 1】

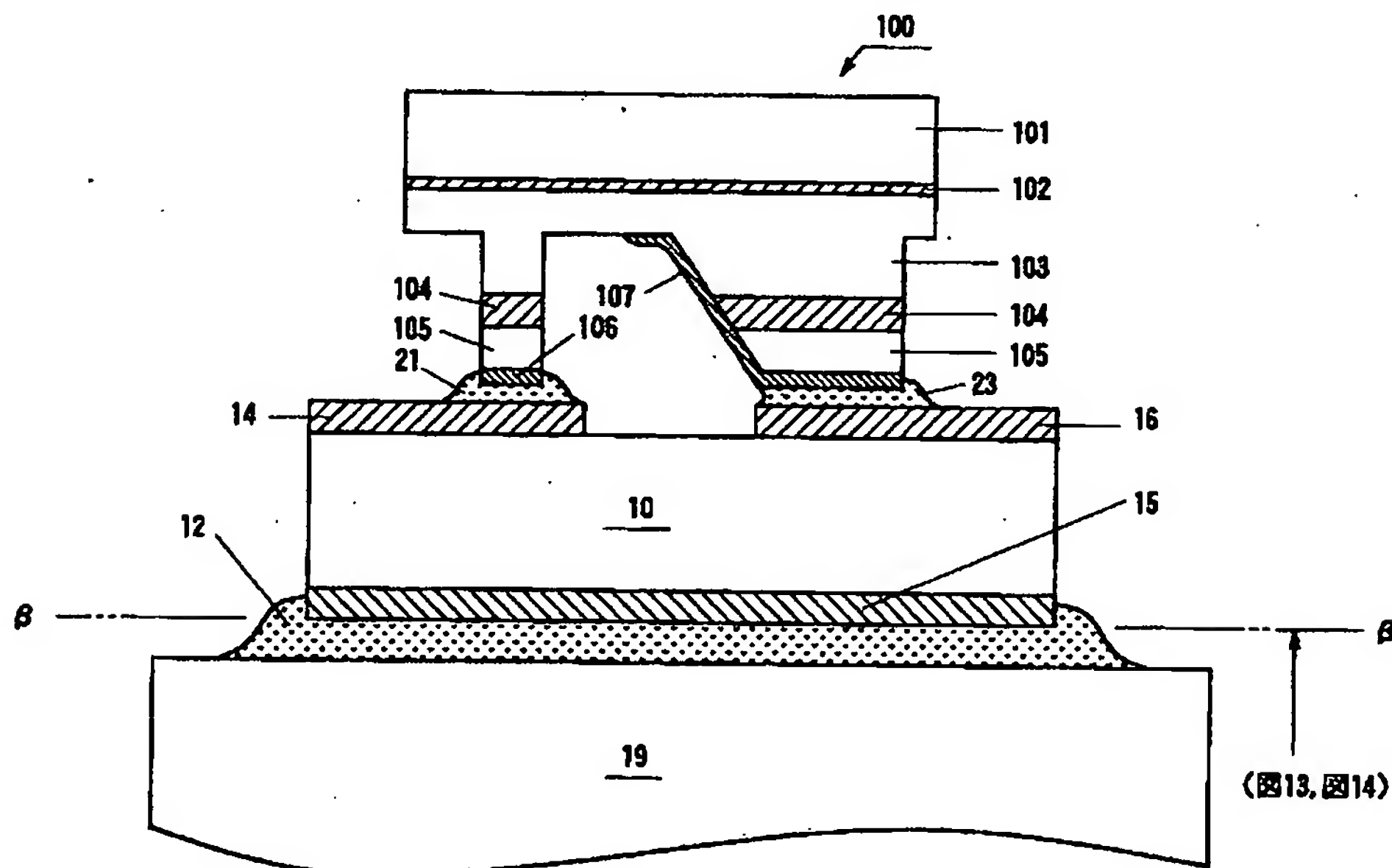
使用金属の 元素記号	評価項目				
	①半導体層と の密着性	②接触抵抗 (駆動電圧)	③ 耐蝕性	④Au積層後 の特性安定性	⑤総合評価 (量産適合性)
Rh	○ <sup>+</sup>	○ <sup>+</sup>	○ <sup>+</sup>	○	◎
Ni	△	○	○	○	○
Co	△	○	○	○	○
Ru	○	○	○	△	○
Pt	○	○	○	△	○
Pd	△	○	○	△	△

◎ : 優    ○ : 良    △ : 可    ○<sup>+</sup> : 良(○)よりもやや優れる

【図 1 4】



【図 1 2】



フロントページの続き

(72)発明者 湧口 光雄  
愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1  
番地 豊田合成株式会社内  
(72)発明者 小池 正好  
愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1  
番地 豊田合成株式会社内

Fターム(参考) 5F041 AA05 CA04 CA12 CA14 CA40  
CA82 CB04 CB11 DA03 DA09  
5F073 AA02 AA04 AA13 AB17 CA07  
CB05 CB22 CB23 EA23 EA29  
FA14 FA15 FA22